

Efeito da Aplicação de Lixo Urbano Compostado e de Adubos Minerais no Solo e na Produtividade de *Eucalyptus grandis*

Guilherme de Castro Andrade¹
Antônio Francisco Jurado Bellote²
Helton Damin da Silva³
Renato Antônio Dedecek⁴
José Luiz Gava⁵

RESUMO

As florestas têm sido estudadas como ecossistemas aptos à absorver resíduos orgânicos, utilizados como fertilizantes e condicionadores do solo. Este trabalho avaliou no Município de Itatinga, SP, em Neossolo Quartzarênico, os efeitos da aplicação de lixo urbano compostado e da adubação mineral em plantações de *Eucalyptus grandis* com 86 meses de idade. Foram analisadas as produtividades de madeira, a decomposição da serapilheira e as propriedades químicas e físicas do solo. Verificou-se que a aplicação de lixo urbano aumentou a produtividade de *E. grandis* com relação à testemunha, com um ganho de 45,6 % no volume cilíndrico de madeira. O solo com aplicação de lixo urbano apresentou um menor tempo de decomposição da serapilheira, em média com reduções de 28 % para folhas e de 16 % para galhos, com aumentos no pH e na água disponível no solo de 13 % a 25 %, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, que podem justificar a maior produção de madeira obtida no final da rotação, em comparação com as parcelas que só receberam fertilizantes minerais.

Palavras-chave: Plantios florestais, resíduos, adubação, serapilheira, água do solo.

¹ Engenheiro Florestal, pesquisador da *Embrapa Florestas*. email: andrade@cnpf.embrapa.br

² Engenheiro Agrônomo, pesquisador da *Embrapa Florestas*. email: bellote@cnpf.embrapa.br

³ Engenheiro Florestal, pesquisador da *Embrapa Florestas*. email: helton@cnpf.embrapa.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, pesquisador da *Embrapa Florestas*. email: dedeck@cnpf.embrapa.br

⁵ Engenheiro Florestal, engenheiro da Suzano Ltda. email: jgava@suzano.com.br

Effects of Urban Waste and Mineral Fertilizers Applications on *Eucalyptus grandis* Growth and Soil Conditions

ABSTRACT

Forest plantations have been studied as a potential ecosystem able to absorb organic residues as fertilizers or soil conditioners. This study evaluate the effects of the application of composted organic waste and mineral fertilizers in a *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) plantation with 86 months of age in Neossolo Quartzarênico. It was analyzed wood production, litter decomposition and the physical and chemical changes in the soil properties. It was observed that the municipal composted organic wastes resulted in an increase of 45.6% in wood volume, as compared to the control. It also increase the velocity of the litter decomposition on average of 28% and 16% for leaves and twigs respectively, increasing the pH level values and the availability of water in the soil (from 13% to 25% more available water in the first layer of the soil, 0 -10 cm).

Keywords: Reforestation, liter, soil water.

1. INTRODUÇÃO

Os povoamentos florestais têm sido amplamente estudados como ecossistemas potencialmente aptos a absorver boa parte dos resíduos da exploração florestal, da indústria de transformação da madeira e dos resíduos urbanos, principalmente aqueles de natureza lignocelulósica, utilizados como fertilizantes e também como condicionadores do solo.

Por sua vez, os plantios de eucalipto, um dos principais gêneros florestais cultivados no Brasil para fins industriais, geralmente se localizam em solos de baixa fertilidade natural. Esse gênero é sensível a uma baixa disponibilidade de nutrientes minerais e para obter plantios produtivos nesses solos é recomendada uma complementação na aplicação de nutrientes, assim como para a reposição dos nutrientes exportados nas colheitas. Considerando o alto custo dos fertilizantes,

empresas florestais estão buscando alternativas para os fertilizantes tradicionalmente utilizados e entre essas, está a utilização de resíduos de natureza orgânica da indústria florestal, já incorporada ao sistema de produção, principalmente nas grandes empresas e de resíduos orgânicos urbanos, como o lixo e o lodo de esgoto, que constituem uma opção mais recente, apesar destes resíduos já serem utilizados em outros países há algumas décadas, resultado do tratamento e gerenciamento de resíduos e do planejamento de usos mais antigos, com ênfase em Países da Europa e nos Estados Unidos da América.

O uso agrícola de resíduos tem por objetivo não somente o aumento na oferta de nutrientes, mas também o aumento da matéria orgânica do solo, melhorando suas propriedades físicas como a densidade, a porosidade e a capacidade de retenção de água e as propriedades biológicas através do enriquecimento da atividade macro, meso e microbiológica do solo (BELLOTE et al., 1994, GUERRINI et al., 1994; ANDRADE et al., 1995; FERREIRA et al., 1995; GONÇALVES & MORO, 1995; ANDRADE et al., 2003).

Tais fatores, conseqüentemente, influenciam de forma positiva a ciclagem de nutrientes, colocando em disponibilidade aqueles presentes na serapilheira, em curto espaço de tempo e contribuindo, ainda, para o aumento do regime hídrico do solo, quando o resíduo é aplicado através de irrigação por meio de efluentes. Porém, a aplicação de resíduos em solos florestais deve ser acompanhada de estudos detalhados sobre as implicações ambientais, principalmente no solo e nas águas subterrâneas, uma vez que, dependendo do resíduo, este pode conter produtos contaminantes ou desbalancear o solo pelo excesso de alguns elementos químicos.

Dentro desse contexto, verificaram-se os efeitos da aplicação de lixo urbano orgânico compostado e de fertilizantes minerais, na produtividade de madeira e nas condições químicas e físicas do solo em um plantio de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden com 86 meses de idade. Avaliou-se também a decomposição da serapilheira de folhas e galhos entre o terceiro e quarto ano de idade da plantação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em áreas da Companhia Suzano de Papel e Celulose, que realizou o plantio de *E. grandis* em dezembro de 1991, na Fazenda Ariona, Município de Itatinga, Estado de São Paulo, Brasil.

A região está localizada a 23° 15' S de latitude, 48° 28' de longitude oeste na altitude de 640 m s.n.m. O clima, com base na classificação de Köppen, é o Cfa, mesotérmico úmido, com uma precipitação pluviométrica média anual de 1.200 mm a 1.300 mm, concentrada de outubro a março, sem deficiência hídrica, e com temperaturas médias variando de 22 a 23 °C no mês mais quente do ano (janeiro) e de 15 a 16 °C no mês mais frio (julho).

O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, A moderado, fase cerrado (SISTEMA..., 1999). Este solo é profundo, bem drenado, com textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos uma profundidade de dois metros da superfície. As frações areia grossa e areia fina desse solo são essencialmente constituídas de quartzo, sendo, por conseguinte, virtualmente desprovidas de minerais primários facilmente intemperizáveis.

Devido à constituição essencialmente quartzosa, esse solo é pobre em nutrientes para as plantas, além de ser ácido, com baixa capacidade de retenção de cátions e de água. Suas sérias limitações edáficas restringem o seu uso para a agricultura, tornando-o mais adequado aos plantios florestais. O relevo é plano a suave ondulado, com pendentes de 2 % a 4 % de declive e comprimento de rampa de mais de 200 m.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas características químicas deste solo anteriormente à instalação do ensaio.

Tabela 1. Análise química do solo da área do experimento.

Profundidade	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V
cm	CaCl ₂	g/kg	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				%
0–10	3,3	22	6	0,02	0,10	0,10	2,0	6,4	3
10–20	3,5	15	6	0,02	0,10	0,10	2,5	4,2	5
20–30	3,5	14	3	0,02	0,10	0,10	1,2	3,8	5

As parcelas foram retangulares (8x7 plantas), totalizando 56 plantas por parcela com bordadura dupla de plantas (12 mensuráveis) e espaçamento entre árvores de 3,0 m x 2,0 m. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com 7 repetições e 4 tratamentos detalhados a seguir (quantidades em kg/ha, no plantio):

Tratamento 1. 130 de Fosfato Parcialmente Solubilizado (FAPS) e 148 NPK(10-20-10) no sulco e 146 NPK(10-20-10) em cobertura (**Aq1** = adubação química 1).

Tratamento 2. 1.500 calcário + 400 Termofosfato + 300 NPK(10-10-10) + 200 NPK(20-00-15) à lanço, em faixa, no sulco e em cobertura, respectivamente (calcário + **Aq2** = adubação química 2).

Tratamento 3. 15 mil de lixo urbano orgânico compostado + 400 Termofosfato + 300 NPK(10-10-10) + 200 NPK(20-00-15) à lanço, em faixa, no sulco e em cobertura, respectivamente (**lixo** + **Aq2**).

Tratamento 4. 400 Termofosfato + 300 NPK(10-10-10) + 200 NPK(20-00-15) em faixa, no sulco e em cobertura, respectivamente (**Aq2** = testemunha).

O composto orgânico utilizado foi proveniente da Usina de Compostagem de Lixo Urbano da cidade de São Paulo. Tratava-se de um resíduo orgânico em processo de compostagem, que necessitava de uma maturação complementar no pátio da fazenda (cura completa), antes de seu uso como fertilizante. Dessa forma, os dados apresentados na Tabela 2 referem-se aos valores médios do lixo urbano orgânico não totalmente compostado, ou também denominado de parcialmente curado, aproximadamente 60 dias de cura (ZEN et al., 1994).

Tabela 2. Características do lixo orgânico urbano parcialmente compostado (adaptado de Zen *et al.*, 1994).

Parâmetros medidos	Composição média
pH	8,0
Cinza (g/kg)	457
Teor de umidade (g/kg)	350
Matéria orgânica (g/kg)	530
Carbono (g/kg)	225
N (g/kg)	18
Relação C/N	12,5
P (g/kg)	2,4
K (g/kg)	8,9
Ca (g/kg)	21
Mg (g/kg)	2,9
S (g/kg)	3,3

Assim sendo, pela análise química do lixo urbano orgânico compostado (Tabela 2), a aplicação de 15 t ha⁻¹ na parcela experimental incorporou ao solo 270 kg ha⁻¹ de N, 36 kg ha⁻¹ de P, 133 kg ha⁻¹ de K, 315 kg ha⁻¹ de Ca e 43 kg ha⁻¹ de Mg.

Em 11 de março de 1994, foi realizada uma adubação de manutenção, para corrigir os teores foliares de **K** e **Mg**. Esta adubação não foi realizada nas parcelas do tratamento 1 (Aq1). Dessa forma, as parcelas dos tratamentos 2, 3 e 4 receberam as seguintes dosagens de fertilizantes: 120 kg ha⁻¹ de NPK 20-00-20 + 40 kg ha⁻¹ de KCl + 150 kg ha⁻¹ de MgSO₄.

Deste modo, os solos dos tratamentos receberam por hectare, segundo a composição química dos fertilizantes e do resíduo utilizados, as seguintes quantidades totais de nutrientes:

Tratamento 1– 29,4 kg de N, 39,2 kg de P, 24,4 kg de K; Tratamento 2– 94 kg de N, 46,3 kg de P, 69,7 kg de K, 343 kg de Ca e 163 kg de Mg. Tratamento 3–

340 kg de N, 82,3 kg de P, 182,8 kg de K, 315 kg de Ca e 43 kg de Mg; e Tratamento 4– 94 kg de N, 46,3 kg de P, 69,7 kg de K.

Avaliação do volume cilíndrico de madeira: A avaliação dendrométrica foi realizada ao final do experimento, com 86 meses de idade. Foram feitas medições de diâmetro a 1,30 m da base (DAP) e altura total das árvores mensuráveis das parcelas nos sete blocos ou repetições do ensaio, para os cálculos de volume cilíndrico arbóreo (volume cilíndrico = $\pi/4 \times (\text{DAP})^2 \times \text{altura total}$). Realizou-se uma análise de variância e teste F de contrastes ortogonais para a comparação de médias entre os tratamentos. Foram estabelecidos três contrastes: **contraste nº. 1** - tratamentos 2, 3 e 4 (todos que receberam a adubação química 2 – Aq2) contra o tratamento 1 (adubação química 1 – Aq1), **contraste nº 2** – tratamento 2 (calcário + Aq2) e o tratamento 3 (lixo compostado + Aq2) contra o tratamento 4 (Aq2) e **contraste nº 3** – tratamento 2 contra o tratamento 3.

Avaliação da decomposição da serapilheira: A velocidade de decomposição da serapilheira de folhas e galhos foi avaliada quando as árvores de *E. grandis* encontravam-se entre os 32 e 54 meses de idade, nos quatro tratamentos e em três blocos do ensaio.

Para essa avaliação, foram preparadas amostras de serapilheira com cerca de 25 g de biomassa seca estimada de folhas e de 40 g para galhos, coletadas e distribuídas no interior das parcelas de cada tratamento e suas repetições. As amostras foram acondicionadas em embalagens de tela plástica de malha fina, com 1,5 mm de diâmetro, e depositadas na superfície do solo. As amostras foram retiradas do campo em intervalos de tempo variados durante um período de 12 meses para folhas e de 20 meses para galhos. No laboratório de análise de solo e de tecido vegetal da *Embrapa Florestas*, as amostras foram secas e pesadas para a obtenção dos dados de perda de biomassa, para cada período de permanência no campo.

A análise dos dados baseou-se na utilização de um modelo exponencial negativo, $Y = Y_0 e^{-kt}$, em que o valor de k representa a taxa de decomposição da serapilheira no tempo t expresso em anos, Y_0 e Y são as quantidades de serapilheira no início do ensaio e no tempo t, respectivamente (OLSON, 1963).

Avaliação do solo aos 86 meses do plantio: Para as avaliações das características

físicas e químicas do solo, foram coletadas amostras em diferentes profundidades, por tratamento, nos blocos 1, 4 e 7, aos 86 meses de idade. Para a análise química, as amostras foram coletadas em cinco pontos aleatórios, na área útil da parcela, nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm, formando amostras compostas por profundidade. Estas amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm (TFSA), com exceção das análises de N, onde foi usada malha 0,2 mm, e analisadas para pH, K, Ca, Mg, Al, H + Al, matéria orgânica (MO) e P no laboratório de análise de solo e de tecido vegetal da *Embrapa Florestas*. Realizou-se uma análise de variância e teste F de contrastes ortogonais para a comparação de médias entre os tratamentos, com os mesmos contrastes que foram aplicados para os dados de produtividade, e análises de polinômios para a comparação de médias entre as profundidades.

O P assimilável e o K trocável foram extraídos com HCl 1 Mol.L⁻¹, conforme descrito por Bloise et al. (1979). A acidez potencial foi determinada através de solução tampão SMP, segundo Raij & Quaggio (1983).

As análises físico-hídricas do solo seguiram a metodologia contida no manual de métodos e análises de solo (CLAESSEN, 1997). As amostras foram retiradas com anéis volumétricos, com 68 cm³ de volume médio, nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm. No campo e, se necessário, também no laboratório, o excesso de solo foi eliminado cuidadosamente com auxílio de uma espátula, a fim de que o solo ocupasse exatamente o volume do cilindro. Em seguida, o anel foi saturado com água e submetido a diferentes pressões, utilizando nas inferiores (3 e 6 kPa) a mesa de tensão e nas tensões de 10, 33, 100, 500 e 1.500 kPa, a panela de pressão, retirando-se a água das amostras e pesando-as, sucessivamente, até a última tensão. Após essa etapa, a amostra foi novamente pesada e colocada em estufa para a secagem completa.

cse, também, a massa específica das partículas do solo (rp), utilizando o método do volume deslocado de álcool por 20g de solo seco e a massa específica do solo seco (rss), obtida dividindo-se o peso do solo seco pelo volume do anel. A porosidade total (a) foi calculada pela seguinte equação: $a = 1 - (rss / rp)$.

A macroporosidade é a diferença entre a porosidade total e a umidade com base no volume existente no solo, sob a tensão de 6 kPa, tensão mais adequada, por se tratar de um solo bastante arenoso.

Os valores médios de umidade volumétrica na curva de retenção foram ajustados utilizando-se o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980). As análises dos coeficientes angulares destas equações permitem inferir que, quanto maior o coeficiente angular, existe mais água disponível no solo para as plantas entre as tensões de 6 kPa e 1.500 kPa, ou seja, maior é a diferença entre o conteúdo d'água, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Neste caso, trabalhou-se com 6 kPa como umidade na capacidade de campo, porque o solo é de textura arenosa e possui mais do que 10 % de porosidade de aeração sob esta tensão.

Por último, aplicou-se uma análise de Correlação de Pearson entre o DAP médio das árvores, aos 86 meses de idade, nas parcelas onde foram coletadas as amostras indeformadas, e a água disponível no solo nestas parcelas na profundidade de 0 a 10 cm, obtida da sua curva de retenção de água, entre as tensões de 6 kPa e 1.500 kPa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Volume de madeira: Decorridos 86 meses da adubação mineral no plantio e da aplicação do lixo urbano compostado e 60 meses da adubação mineral de manutenção nas parcelas de *E. grandis*, obteve-se os dados de volume cilíndrico de madeira, por tratamento e repetição, por meio das medições de altura total e DAP (diâmetro à altura do peito) das árvores, na idade do corte, os quais estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Volume cilíndrico de madeira em m^3ha^{-1} , por tratamento e por bloco, na idade do corte (86 meses).

Tratamento*	Volume cilíndrico de madeira (m^3ha^{-1}) / bloco							Média
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
1	325,3	373,8	400,7	436,8	435,1	393,2	389,9	393,5
2	344,9	656,2	611,6	626,1	512,9	434,2	476,8	523,2
3	641,5	908,4	774,9	742,8	578,8	754,9	665,4	723,8
4	368,8	635,1	456,5	487,6	634,7	449,1	447,9	497,1

*trat 1 = Aq1; trat.2 = Calcário + Aq2; trat.3 = Lixo urbano + Aq2; trat.4 = Aq2.

Tabela 3. Volume cilíndrico de madeira em m^3ha^{-1} , por tratamento e por bloco, na idade do corte (86 meses).

Observa-se na Tabela 3 que o tratamento 3 destacou-se dos demais e, a partir da análise de variância (Tabela 4), verificou-se que houve diferença estatística entre tratamentos ao nível de 1 % de probabilidade. O teste F para contrastes ortogonais, indicou no 1º contraste que os tratamentos 2, 3 e 4, todos que receberam a adubação Aq2, foram superiores em volume cilíndrico de madeira ao que recebeu adubação Aq1 (tratamento 1). No contraste seguinte, os tratamentos 2 (calcário + Aq2) e 3 (lixo compostado + Aq2) foram superiores ao tratamento 4 (Aq2) que não recebeu nem calcário nem lixo. No último contraste, o tratamento 3 foi superior ao tratamento 2.

Tabela 4. Análise de variância para os dados de volume de madeira em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ e teste f para contraste entre tratamentos.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB. > F
Bloco	6	117801,60	19633,60	3,5640	0,01661
Tratamento	3	400644,82	133548,27	24,2426	0,00002
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	185261,90	185261,90	33,6300	0,00007
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	74571,80	74571,80	13,5368	0,00201
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	140811,20	140811,20	25,5610	0,00020
Resíduo	18	99158,90	5508,83		
Total	27	617605,32			

Média geral = $534,42 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$; coeficiente de variação = 13,9%.

A produtividade em volume cilíndrico arbóreo, obtida aos 86 meses de idade, com a aplicação do lixo compostado + Aq2 (tratamento 3), foi de $101 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, o que equivale, considerando um fator de forma de 0,5, a um volume real de madeira com casca de $50 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, valor situado no intervalo citado por Bellote (1990), para plantios de *E. grandis* no Estado de São Paulo em levantamento realizado nas empresas florestais há mais de 15 anos. Com o material genético e as tecnologias disponíveis naquela época, a produtividade de plantios de eucalipto oscilava entre 19 a $72 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, em diferentes sítios florestais.

Considerando ainda os tratamentos que receberam somente adubação química, os resultados de volume real de madeira com casca, aos 86 meses de idade, são também elevados para o sítio em questão, variando de 27 a $36 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, destacando-se a produtividade de *Eucalyptus* nas parcelas com adubação química 2 (Aq2), tratamentos 2 e 4, que foram superiores respectivamente em 33,0 % e 26,3 % ao tratamento 1 de adubação química 1 (Aq1). Ressalta-se que, além da adubação diferenciada entre Aq1 e Aq2, os tratamentos 2 e 4 (Aq2) tiveram a

adubação de manutenção aos 27 meses de idade, que não foi realizada no tratamento com Aq1.

Estes resultados confirmaram a eficiência do lixo orgânico urbano compostado no aumento da produção de madeira de plantios *E. grandis* na região de Itatinga, SP, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.

Na Tabela 3, observa-se, ainda, pelo volume cilíndrico médio de madeira, aos 86 meses de idade, por tratamento, que a adição de lixo urbano orgânico compostado mais a adubação química (Aq2) propiciaram um ganho de 45,6 % com relação ao tratamento 4 (Aq2) e de 83,9 % com relação ao tratamento 1 (Aq1). O efeito da calagem foi pequeno, já que o aumento de volume cilíndrico de madeira do tratamento 2 com relação ao tratamento 4 (Aq2) foi de apenas 5,2 %.

Ganhos de produtividade em madeira de *E. grandis* com o uso de lixo urbano orgânico compostado em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico foram observados por Zen et al. (1994), que testaram várias quantidades aplicadas no plantio, aos três anos de idade (manutenção) e na 2ª rotação (rebrotas), obtendo ganhos em volume cilíndrico de madeira, aos quatro anos de idade, de 30 % a 164 %, em comparação aos valores encontrados para a testemunha.

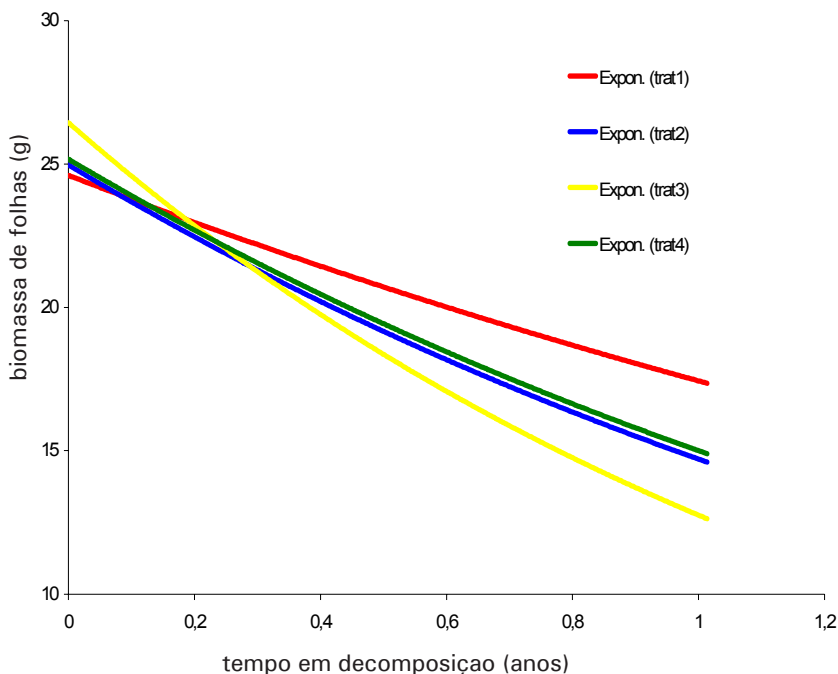
No entanto, Pérez et al. (1997), utilizando composto de lixo urbano proveniente da empresa COMLURB, da cidade do Rio de Janeiro, com características químicas similares ao composto deste ensaio, verificaram que a sua aplicação não proporcionou diferenças estatísticas no crescimento do híbrido *E. "urograndis"*, 16 meses após o plantio, apesar de todos os tratamentos que receberam composto possuírem altura e diâmetro de plantas maiores que os da testemunha. Os autores concluíram que esse resultado pode estar relacionado à fertilidade elevada da camada superficial do solo (Cambissolo), não se observando uma resposta significativa neste estágio inicial de desenvolvimento das plantas.

Henry et al. (1997), reportando os resultados do uso de biosólidos (resíduos produzidos nas cidades após o tratamento de águas residuais) em sítios florestais, desde 1970, nos Estados Unidos, concluíram que os ganhos obtidos em crescimento das árvores sugerem que, dependendo do custo atual do transporte, a existência de um forte indicativo de que o crescimento adicional das árvores compensaria os custos da aplicação do biosólido. Contudo, Le Tacon et al. (1988), avaliando o crescimento inicial de árvores de *Fraxinus excelsior* L., após a

aplicação de 61 t ha^{-1} de lodo de esgoto urbano, concluíram que os incrementos no crescimento desta espécie não foram suficientes para compensar os custos de transporte e aplicação do resíduo.

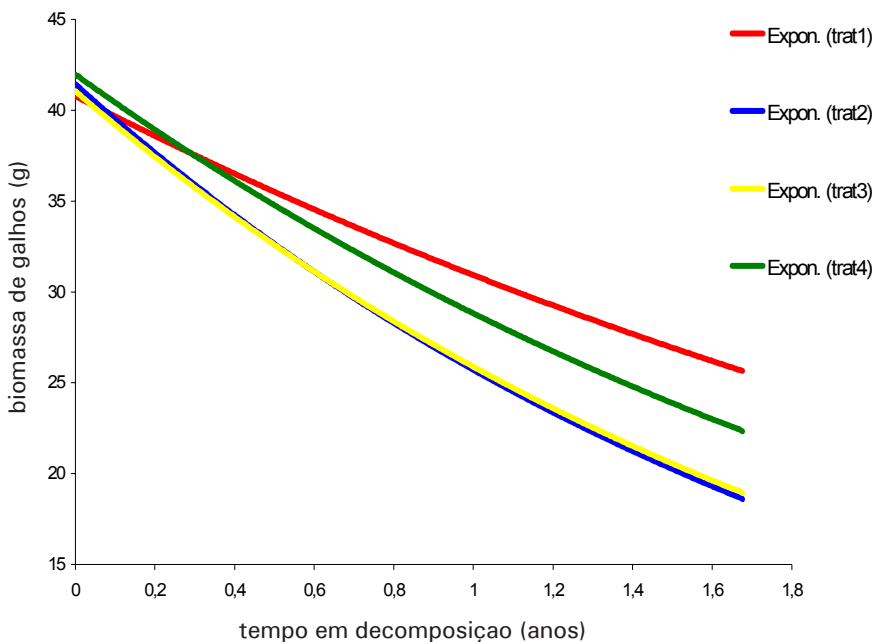
Efeitos do lixo urbano compostado na decomposição da serapilheira em *E. grandis*:

Avaliou-se a decomposição da serapilheira entre a idade de 34 e 54 meses e a influência da adição de lixo urbano orgânico compostado nesse processo. Os resultados da decomposição, expressa em perda de biomassa para folhas e para galhos, nos diferentes períodos de permanência no solo, são mostrados graficamente por equações, nas Figuras 1 e 2, respectivamente. Os ajustes do modelo exponencial, que representa a variação de peso das amostras de folhas e galhos, para cada tratamento, em função do tempo de permanência em decomposição no solo, são mostrados na Tabela 5.



*trat 1 = Aq1; trat.2 = Calcário + Aq2; trat.3 = Lixo urbano + Aq2; trat.4 = Aq2.

Figura 1. Decomposição, expressa em perda de biomassa, de folhas de *e. Grandis*, em função dos tratamentos e diferentes tempos de permanência no solo.



*trat 1 = Aq1; trat.2 = calcário + Aq2; trat.3 = lixo urbano + Aq2; trat.4 = Aq2.

Figura 2. Decomposição, expressa em perda de biomassa, de galhos de *e. Grandis*, em função dos tratamentos e diferentes tempos de permanência no solo.

Tabela 5. Coeficientes estimados para o modelo exponencial negativo, coeficientes de determinação e nível de significância que representam a decomposição de folhas e galhos nos diversos tratamentos.

Tratamento	Coeficiente para folhas		Probab. p	Coeficiente para galhos		Probab. p
	k	R ²		k	R ²	
1	0,352 ± 0,085	0,729	< 0,01	0,266 ± 0,027	0,968	< 0,01
2	0,521 ± 0,109	0,795	< 0,01	0,439 ± 0,055	0,959	< 0,01
3	0,757 ± 0,047	0,979	< 0,01	0,465 ± 0,040	0,980	< 0,01
4	0,501 ± 0,071	0,895	< 0,01	0,356 ± 0,038	0,968	< 0,01

No modelo exponencial negativo, $Y = Y_0 e^{-kt}$, o valor de k representa a taxa de decomposição da serapilheira no tempo t expresso em anos, Y_0 e Y são as quantidades de serapilheira inicial e no tempo t , respectivamente. O inverso de k corresponde ao tempo, em anos, necessário para a decomposição do material restante.

Os ajustes do modelo exponencial para a decomposição de folhas e galhos nas parcelas de *Eucalyptus grandis* apresentaram maior precisão no tratamento que, além da adubação química, recebeu o lixo urbano orgânico compostado. Este tratamento também apresentou as maiores taxas de decomposição (k), que resultaram em menores tempos para a decomposição do material restante, que foi de 1,32 ano para as folhas e 2,15 anos para galhos, enquanto que, nos outros tratamentos, que somente receberam fertilizantes minerais, este tempo variou de 1,92 a 2,84 anos para folhas e de 2,28 a 3,76 anos para galhos, significando uma redução no tempo total, para decomposição de todo o material, em comparação com os outros tratamentos, desde o início da avaliação, de 21 % a 39 % para as folhas e de 5 % a 31 % para os galhos.

Esses resultados foram menos expressivos do que aqueles obtidos por Ferreira et al. (1995) em Mogi-Guaçu, SP, onde a decomposição de serapilheira em parcelas com aplicação de resíduos de celulose em plantios de *E. grandis* foi, pelo menos, três vezes mais rápida do que o tratamento que recebeu apenas a adubação mineral. Contudo, observou-se que 15 t do lixo urbano aplicadas neste experimento influenciou positivamente a taxa de decomposição da serapilheira, principalmente das folhas, durante o período de avaliação.

Pode-se concluir que a presença de lixo urbano favoreceu e acelerou a decomposição da serapilheira, contribuindo para o aumento da disponibilidade de nutrientes no ecossistema florestal. Esse favorecimento pode estar relacionado ao aumento da atividade microbiana do solo, com a adição de lixo urbano compostado, como relatado por Dionísio (1996) neste mesmo experimento e confirmado em outras pesquisas por meio de análises microbiológicas de solos que receberam resíduo orgânico de lixo urbano (SORENSEN, 1975; RICE, 1979; PASCUAL et al., 1999; PASCUAL et al., 1997).

3.1. Efeitos da adubação mineral e da aplicação de lixo orgânico sobre o solo

Química do solo: O solo foi avaliado 86 meses após o plantio, verificando-se os

efeitos dos tratamentos sobre as suas propriedades químicas. Os valores médios referentes às análises laboratoriais encontram-se na Tabela 6. Estes dados foram submetidos às análises de variância, sendo os resultados de Probabilidades do teste F apresentados na Tabela 7.

Tabela 6. Análise do solo em diferentes profundidades por tratamento, 86 meses após o plantio. Média de três repetições.

Tratamento	Prof. cm	pH	K	Ca	Mg	Al	H+Al	MO	P
		CaCl ₂	cmolc dm ⁻³					g/kg	mg/dm ³
1	0 - 5	3,41	0,03	0,52	1,03	1,50	7,37	16,09	6,8
1	5 - 10	3,63	0,02	0,40	1,05	1,17	5,83	13,71	6,6
1	10 - 20	3,80	0,02	0,37	0,80	0,87	4,67	10,83	11,9
1	20 - 30	3,87	0,01	0,30	0,92	0,93	4,23	9,34	9,6
2	0 - 5	3,42	0,03	0,48	1,27	1,57	5,48	22,45	4,1
2	5 - 10	3,66	0,02	0,38	0,97	1,03	5,03	11,72	7,9
2	10 - 20	3,78	0,01	0,43	0,82	0,97	4,18	12,38	9,8
2	20 - 30	3,88	0,01	0,30	1,22	0,87	8,50	11,68	8,5
3	0 - 5	3,31	0,05	0,45	1,93	1,77	5,63	15,58	4,7
3	5 - 10	3,68	0,02	0,33	1,52	1,07	4,49	10,85	4,6
3	10 - 20	3,83	0,02	0,47	1,12	1,00	3,99	8,86	11,9
3	20 - 30	3,90	0,01	0,33	0,97	0,80	5,89	10,57	16,0
4	0 - 5	3,31	0,03	0,35	0,70	1,53	6,00	13,44	5,2
4	5 - 10	3,51	0,02	0,32	0,58	1,23	5,22	10,77	5,0
4	10 - 20	3,47	0,02	0,45	0,75	1,27	5,75	13,66	6,1
4	20 - 30	3,65	0,01	0,35	0,92	1,30	5,49	10,89	8,9

Observou-se, para tratamento, que não houve diferenças significativas ($p < 0,05$) para a maioria dos parâmetros químicos avaliados. A exceção foi o pH, em que os tratamentos 2 (calcário + Aq2) e 3 (lixo + Aq2) apresentaram valores de pH no solo superiores a 1 % probabilidade ao tratamento 4 (Aq2), indicando que tanto o lixo compostado quanto o calcário contribuíram para um aumento do pH no solo.

Tabela 7. Valores de probabilidade f das análises de variância da química do solo, contrastes ortogonais para os efeitos de tratamentos e análise de polinômios ortogonais para efeito da profundidade do solo

Causas de Variação	pH	K	Ca	Mg	Al	H+Al	MO	P
	Probabilidade > F							
Tratamento	0,007	0,188	0,966	0,116	0,278	0,506	0,361	0,581
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	0,237	-	-	-	-	-	-	-
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	0,001	-	-	-	-	-	-	-
Contraste trat. 3 vs trat. 2	0,935	-	-	-	-	-	-	-
Profundidade do solo	<0,001	<0,001	0,286	0,587	<0,001	0,028	0,006	0,050
Linear	<0,001	<0,001	-	-	<0,001	0,993	0,004	0,009
Quadrática	0,016	0,026	-	-	0,010	0,003	0,061	0,558
Desvio	0,173	0,056	-	-	0,155	0,933	0,163	0,512
Tratamento x Profundidade	0,819	0,702	0,982	0,907	0,799	0,027	0,624	0,850
Coefficiente de Variação %	4,2	36,4	46,7	61,8	26,6	24,1	34,4	70,8

Trabalhos realizados por Alves & Passoni (1997) e Trindade et al. (1997), avaliando o uso de composto de lixo orgânico urbano na produção de mudas florestais, relatam aumentos de pH no substrato de mudas após a formulação do substrato com este resíduo. Enquanto que Fortes Neto et al. (1996), utilizando lixo urbano no cultivo de olerícolas, e Santos et al. (1999), como substrato no cultivo de alface, verificaram também uma elevação do pH. Em diversos ensaios de campo com a aplicação de outros resíduos orgânicos em plantios florestais, também foram constatados aumentos no pH do solo (BELLOTE et al., 1994; GUERRINI et al., 1994; GUERRINI & MORO, 1994).

Kiehl (1985) destacou que a adição de compostos orgânicos, pelo menos inicialmente, pode elevar o pH do solo, principalmente por causa das altas concentrações de bases trocáveis nesses materiais, contudo, a remoção dessas bases pelas plantas provoca a acidificação do solo. O autor ressaltou, ainda, que a

lixiviação dessas bases no solo da camada superior para profundidades maiores também pode diminuir o pH na superfície do solo.

Com relação aos outros parâmetros avaliados, Alves & Passoni (1997), Trindade et al. (1997) e Santos et al. (1999) observaram maiores teores de **K** em substratos para plantas, após a utilização de lixo urbano compostado na formulação do substrato. Kotze & Joubert (1992) também observaram aumentos nos teores de **K** seis anos após a aplicação de composto de lixo urbano em solos com plantios de damasco.

Para as avaliações nos teores de **Ca** e **Mg**, Alves & Passoni (1997) reportaram acréscimos destes elementos no substrato quando da utilização de composto de lixo urbano na produção de mudas, enquanto que Trindade et al. (1997) verificaram que o aumento ocorreu apenas nos teores de **Ca**.

Apesar da diferença não significativa entre os tratamentos para os teores de matéria orgânica do solo (Tabela 7), a aplicação do lixo urbano em plantios de eucalipto possivelmente aumenta o teor nos estágios iniciais do desenvolvimento das árvores, contribuindo para um melhor desenvolvimento inicial e promove uma maior velocidade de decomposição da serapilheira, resultando em um consumo mais rápido da matéria orgânica do solo, disponibilizando os nutrientes para as árvores e intensificando o processo de ciclagem. Desse modo, é provável que no final do ciclo (86 meses), seja mais difícil detectar este aumento no teor de matéria orgânica no solo. Entretanto, os dados disponíveis nesse trabalho não permitem qualquer conclusão nesse sentido.

A análise para os dados de profundidade (Tabela 7) revelou, com exceção do **Ca** e **Mg**, que houve um aumento significativo ($p < 0,05$) para os valores de pH e de **P** e uma redução nos teores de **K**, **Al**, **H** + **Al** e **MO**, da superfície até os 30 cm de profundidade (Tabela 6), sendo este comportamento quadrático para **H** + **Al** e linear para os demais. Observou-se ainda, que não houve interação entre profundidade e tratamento, a exceção do **H** + **Al** ($p < 0,027$), indicando resultados comuns para profundidade independente dos tratamentos.

Com relação a melhor época para se detectar as alterações no solo e na planta provocadas pela aplicação de resíduos orgânicos no solo, Guerrini & Moro (1994), recomendaram que a amostragem deve ocorrer entre os seis e 12 meses após a aplicação do resíduo no solo. Apesar desta avaliação no estágio inicial no sítio

possibilitar um diagnóstico imediato das novas condições do ambiente, avaliações em idades mais avançadas, como no caso deste experimento (86 meses) e até nas próximas rotações dos plantios, poderão contribuir para os estudos dos efeitos do uso de resíduos orgânicos na sustentabilidade de sistemas de produção florestal.

Física do solo: Após decorridos 86 meses do plantio, foram avaliados os efeitos destes tratamentos sobre as propriedades físicas do solo. As análises das amostras indeformadas nas parcelas experimentais e submetidas a diferentes tensões, forneceram os dados de umidade nas profundidades do solo amostradas (Figuras 3, 4 e 5.).

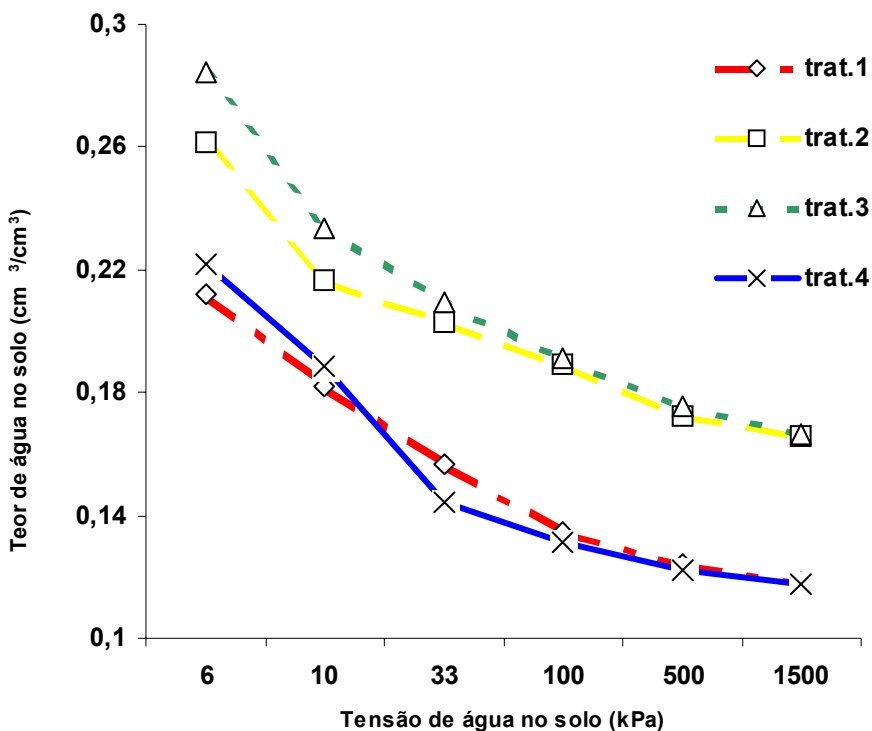


Figura 3. Retenção de água no solo na profundidade de 0 a 10 cm.

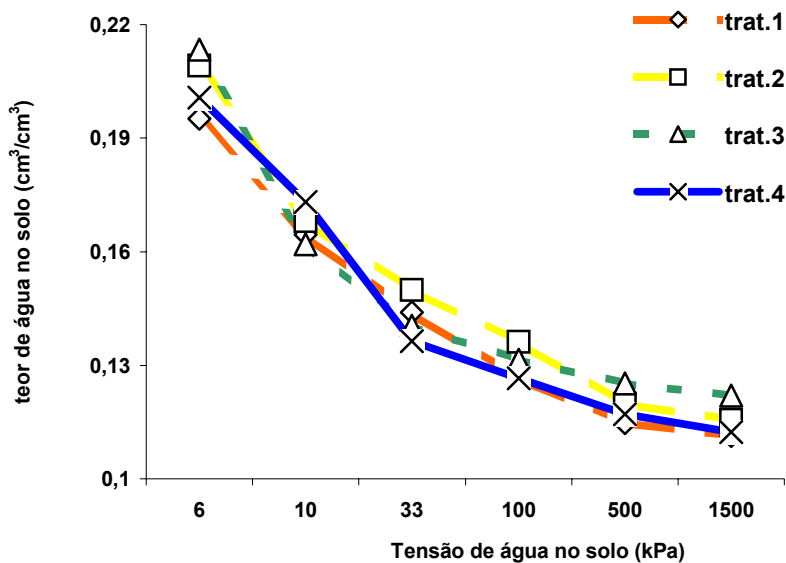


Figura 4. Retenção de água no solo na profundidade de 10 a 20 cm

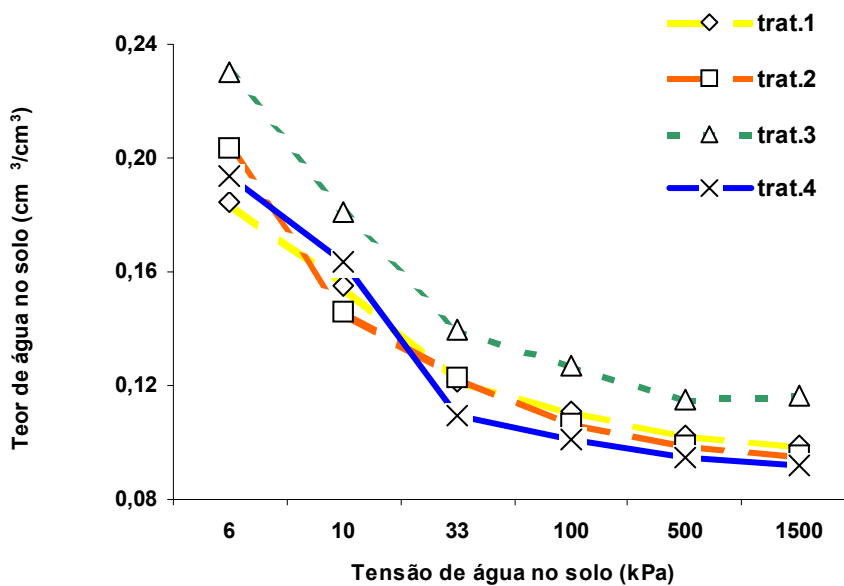


Figura 5. Retenção de água no solo na profundidade de 20 a 30 cm

Observou-se que a umidade do solo, obtida pela relação entre o volume de água existente na amostra, submetida a uma determinada tensão, pelo volume total da amostra, diminuiu à medida que o potencial de água no solo (tensão) aumentou, destacando-se que o comportamento da umidade do solo foi diferenciado entre os tratamentos. O tratamento que recebeu o lixo urbano compostado apresentou na maioria das tensões uma maior retenção de água no solo em todas as profundidades avaliadas.

As umidades do solo, nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, entre as tensões de 6 kPa e 1.500 kPa, foram ajustadas pelo modelo Van Genuchten (1980) obtendo-se equações envolvendo a umidade e a tensão do solo, por tratamento (Tabela 8), sendo que os coeficientes angulares destas equações indicam a disponibilidade de água no solo.

Tabela 8. Equações de regressão, obtidas por tratamento, com os dados de retenção de água no solo sob diferentes tensões, nas parcelas de *E. grandis* em três profundidades

Tratamento	Profundidade do solo (cm)	Equação	R ² (%)
1	0 a 10	$Y = - 0,0652 \ln(x) + 0,1873$	97,0
2	0 a 10	$Y = - 0,0609 \ln(x) + 0,2319$	92,4
3	0 a 10	$Y = - 0,0765 \ln(x) + 0,2486$	93,5
4	0 a 10	$Y = - 0,0728 \ln(x) + 0,1908$	92,7
1	10 a 20	$Y = - 0,0574 \ln(x) + 0,1715$	95,9
2	10 a 20	$Y = - 0,0611 \ln(x) + 0,1804$	93,5
3	10 a 20	$Y = - 0,0569 \ln(x) + 0,1776$	82,5
4	10 a 20	$Y = - 0,0613 \ln(x) + 0,1751$	93,6
1	20 a 30	$Y = - 0,0591 \ln(x) + 0,1585$	92,7
2	20 a 30	$Y = - 0,0686 \ln(x) + 0,1632$	85,7
3	20 a 30	$Y = - 0,0776 \ln(x) + 0,1905$	88,6
4	20 a 30	$Y = - 0,0726 \ln(x) + 0,1622$	88,9

A partir dos modelos gerados (Tabela 8), observou-se que nas profundidades de 0 a 10 cm e de 20 a 30 cm, o solo que recebeu lixo compostado (tratamento 3) apresentou equações com coeficientes angulares maiores do que os outros tratamentos, indicando um maior volume de água disponível para as plantas.

Na profundidade de 10 a 20 cm, verificou-se, por meio dos dados de porosidade do solo (Tabela 9), uma condição diferenciada de compactação em todos os tratamentos, não se repetindo o comportamento da umidade do solo nas outras profundidades.

Tabela 9. Porosidade total do solo, macroporosidade e microporosidade (cm^3/cm^3), em três profundidades no solo, por tratamento, na idade do corte das árvores (86 meses)

Tratamento	profundidade do solo (cm)	porosidade total (cm^3/cm^3)	macroporosidade (cm^3/cm^3)	microporosidade (cm^3/cm^3)	microporosidade relativa (%) *
1	0-10	0,38	0,17	0,21	55,3
2	0-10	0,41	0,15	0,26	63,4
3	0-10	0,42	0,13	0,28	66,7
4	0-10	0,40	0,18	0,22	55,0
1	10-20	0,36	0,17	0,20	55,5
2	10-20	0,36	0,15	0,21	58,3
3	10-20	0,36	0,15	0,21	58,3
4	10-20	0,36	0,16	0,20	55,5
1	20-30	0,38	0,19	0,18	47,4
2	20-30	0,37	0,17	0,20	54,0
3	20-30	0,40	0,17	0,23	57,5
4	20-30	0,37	0,17	0,19	51,3

* relação percentual entre a microporosidade e a porosidade total

Esta condição de compactação do solo, na profundidade de 10 a 20 cm, deve-se possivelmente ao tipo de máquina usado nas atividades florestais, desde a fase de preparo do solo até o corte e colheita da madeira. Além disso, os implementos utilizados para descompactar o solo em áreas de reflorestamento podem não ter sido eficientes para descompactar todas as camadas.

Por se tratar de um solo arenoso, a microporosidade é muito importante para a retenção da água e, para essa característica, destacou-se também o tratamento do solo com lixo urbano compostado que, nas profundidades de 0 a 10 cm e de 20 a 30 cm, apresentou uma microporosidade relativa maior do que a dos outros tratamentos, o que contribuiu para uma maior retenção de água no solo a maiores tensões. Observou-se ainda que o tratamento 2 (calcário) também apresentou resultados satisfatórios, principalmente na profundidade de 0 a 10 cm, que pode

estar relacionado à capacidade do calcário de aumentar a floculação de argilas, influenciando na porosidade do solo.

A análise de correlação simples (Pearson) entre o DAP médio das árvores, aos 86 meses de idade, e a água disponível no solo na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 10) mostrou que os maiores diâmetros das árvores estão relacionados aos maiores volumes de água disponíveis no solo. Como o tratamento 3 (lixo urbano orgânico compostado) em todas as repetições apresentou os maiores DAP médios das árvores, esse resultado confirmou a influência da quantidade de água disponível no solo sobre a produtividade florestal, em Neossolo Quartzarênico Órtico típico. O volume de água disponível no solo que recebeu lixo urbano compostado foi de 13 % a 25 % superior ao valor dos outros tratamentos.

Tabela 10. Volume de água, na profundidade de 0 a 10 cm, de amostras de solo indeformadas coletadas aos 86 meses de idade nas parcelas de *E. grandis* e correlação com o dap médio da parcela nesta idade. Média de três repetições.

Tratamento	DAP médio das árvores (cm)	Água disponível no solo das parcelas em cm ³ /cm ³ na profundidade de 0 a 10 cm
1	12,0	0,094
2	11,9	0,096
3	14,3	0,118
4	11,6	0,104
r. Pearson (r)	-	0,61 *

* significativo (p < 0,05)

Diversos estudos onde foram utilizados resíduos de lixo urbano propiciaram melhorias nas condições físicas do solo, como uma melhor estrutura, maior retenção de água, aumento da porosidade total e da microporosidade (KOTZE & JOUBERT, 1992; PAGLIAI & ANTISARI, 1993; BAZZOFFI et al., 1998). O mesmo fato tem ocorrido com o uso do resíduo de celulose e cinza de caldeira de fábrica de papel, em plantios de *E. grandis* (BELLOTE et al., 1995).

4. CONCLUSÕES

A aplicação de lixo urbano compostado associada à adubação mineral em Neossolo Quartzarênico Órtico típico contribuiu para o aumento da produtividade

de *E. grandis* com um ganho de 45,6 % para volume cilíndrico de madeira, aos 86 meses de idade.

A aplicação do lixo urbano orgânico no solo reduziu o tempo de decomposição da serapilheira, em média de 28 % para folhas e de 16 % para galhos, o que possivelmente contribuiu para o aumento da disponibilidade de nutrientes.

O solo, após decorridos 86 meses da aplicação de lixo urbano compostado, apresentou aumentos no pH e revelou melhores condições hídricas no final da rotação, com um volume de água disponível para as plantas, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, de 13 % a 25 % superior aos dos tratamentos que somente receberam fertilizantes minerais.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, W. L.; PASSONI, A. A. Composto e vermicomposto de lixo urbano na produção de mudas de oiti (*Licania tomentosa* (Benth)) para arborização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 10, p. 1053-1058, 1997.

ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunni*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, 2003.

ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A.; BELLOTE, A. F. J. Contribucion del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para el *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 47-51, 1995.

BAZZOFFI, P.; PELLEGRINI, S.; ROCCHINI, A.; MORANDI, M.; GRASSELLI, O. The effect of urban refuse compost and different tractors tyres on soil physical properties soil erosion and maize yield. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, p. 275-86, 1998.

BELLOTE, A. F. J. **Nährelementversorgung und Wuchsleistung von gedüngten *Eucalyptus grandis* - Plantagen im Cerrado von Sao Paulo (Brasilien)**. Freiburg: Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1990. 159 p. (Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, 26). Tese apresentada ao Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, para obtenção do título de Doutor.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167-187.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n.1, p. 95-100, 1995.

BLOISE, R. M.; MOREIRA, G. N. C.; DYNIA, J. F. **Métodos de análise de solos e calcários**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 32 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim técnico, 55).

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1).

DIONÍSIO, J. A. **Atividades microbianas em diferentes sistemas de cultivo de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. 1996. 90 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE A. F. J.; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicación de ceniza y residuo de celulosa en la descomposición y liberación de nutrientes de la horajasca en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 101-104, 1995.

FORTES NETO, P.; BALLESTERO, S. D.; FORTES, N. L. P.; GADIOLI, J.; MONTEIRO, M. L.; ROMANO, F. C.; THIMOTEO, A. C.; INABA, R. M.; CEZAR, V. R. S.; CARNIERI, M. Efeitos de doses crescentes de composto de lixo no solo e em algumas culturas olerícolas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Resumos expandidos**. Manaus: Ed. da Universidade do Amazonas, 1996. p. 417-418.

GONÇALVES, J. L. M.; MORO, L. Uso da cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba, **IPEF**, n. 48/49, p. 28-37, 1995.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 188-215.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; EIRA, A. F.; PENATTI, A.; TOLEDO, C. M.; MATSUMOTO, K.; MACHADO, R. W.; MELLO, S. L. M. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em condições de vaso. **Científica**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 43-51, 1994.

HENRY, C. L.; COLE, D. W.; COWE, A. T.; SMITH, C. T. Use of biosolids in the forest: technology, economics and regulations. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 13, n. 4/5, p. 269-277, 1997.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KOTZE, W.; JOUBERT, M. Compost and organic mulches in deciduous fruit production. **Deciduous Fruit Grower**, Bellville, v. 42, n. 3, p. 93-96, 1992.

LE TACON, F.; BOUCHARD, D.; GARBAYE, J. Increase in initial growth of ash (*Fraxinus excelsion*) by the spreading of slurry from an urban sewage treatment plant and by interplanting of white alder (*Alnus incana*). **Revue Forestiere Française**, Nancy, v. 40, n. 2, p. 117-125, 1988.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v. 44, p. 322-331, 1963.

PAGLIAI, M.; ANTISARI, L. V. Influence of waste organic matter on soil micro and macrostructure. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 43, n. 3, p. 205-213, 1993.

PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. Lasting microbiological and biochemical effects on the addition of municipal solid waste to an arid soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, n. 1/2, p. 1-6, 1999.

PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; AYUSO, M. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 24, p. 429-434, 1997.

PÉREZ, D. V.; MENEGUELLI, N. A.; BARRADAS, C. A. A.; MACEDO, J. R. Uso de composto de lixo em solo cultivado com *Eucalyptus urograndis*. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 168-170.

RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. **Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas**, Campinas, n. 81, p. 1-31, 1983.

RICE, E. L. Allelopathy and update. **The Botanical Reiw**, v. 45, p. 105-109, 1979.

SANTOS, I. C.; VICENTE, W. D. C.; MIRANDA, G. V. Teores de metais pesados , Fe e Na, no substrato em função de doses de composto orgânico de lixo urbano e de cultivares de alface. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 415-421, 1999.

SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

SORENSEN, L. H. The influence of clay on the rate decay of amino acid metabolite synthetized in soils during the composition of cellulose. **Soil Biology Biochem**, Oxford, v. 7, p. 171-177, 1975.

TRINDADE, A. V.; DIAS, A. C. P.; JUCFSCH, I. Efeito de resíduos urbanos e de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de capim-gordura *Melinis minutiflora* e de cedro *Cedrela fissilis* em rejeito de mineração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, p. 575-582, 1997.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form for predicting the hydrolic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 892-898, 1980.

ZEN, S.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A. Resíduos urbanos como fonte de nutrientes em povoamentos de eucalipto. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 25-40.